

作業道における片勾配の排水および浸食防止効果

矢部和弘*・旗生 規**・豊川勝生*

(平成 22 年 5 月 20 日受付/平成 22 年 9 月 7 日受理)

要約：近年，森林作業の機械化に伴い，作業道が重要視され始めた。作業道は未舗装の場合が多く，路面浸食防止を目的として，片勾配による分散排水が行われている。そこで本論文では理論展開および模型実験，現地実験により片勾配による分散排水の効果とその限界を求めることを目的とした。

その結果，理論上，平面においては 4% 以内の片勾配で浸食防止効果が得られるという結果が得られたが，未舗装の作業道には無数の凹凸があり，模型実験の結果から実際には理論値の 2 倍程度の片勾配が必要であることがわかった。現地実験において片勾配の施工により，平均浸食深は施工前の 50% 程度に軽減できた。しかし，15% 以上の急勾配の場合は，車両のバランスが崩れて走行に危険が生じたため，舗装や横断溝などの浸食防止対策が必要となることが明らかとなった。

キーワード：作業道，片勾配，排水，路面浸食

はじめに

森林における伐出生産において林道および作業道・集材路は不可欠である。近年では，ハーベスタ・フォワーダシステムやスイングヤード・プロセッサシステムの普及により高密度作業路網が注目されている¹⁾。その中で特に注目を集めているのは恒久的機能を有する作業道である。

作業道は基本的に森林所有者の意思によって作設され，森林管理作業及び伐出作業にのみ使用されるため未舗装の場合が多く，作設の仕方によっては，路面浸食や崩壊などの問題が生じる。

近年見られる作業道では，幹線を尾根部の安定したところに急勾配で作設し，支線はほぼ等高線に沿って配置するという工夫がなされており，浸食・崩壊防止のために様々な分散排水の工夫がなされている²⁾。

路面上の排水を行う工夫のひとつに，路面全体を谷側に傾ける片勾配がある。片勾配をつけると雨水がその場で谷側へ排水され，表面流による路面浸食が減少させる効果が期待できる。立川らは岩手大学演習林において縦断勾配 0% の作業道上に 0, 4, 8, 12% の片勾配を施工し，その浸食防止効果を検証した結果，8% 以上について効果が得られ，走行安全性を考え，8% が片勾配施工の目安になるとしている³⁾。しかし，実際の作業道は幹線においては 20% 近い縦断勾配が設けられており，支線においても我が国の森林の地形特性上，5% 程度の縦断勾配が設けられている例が多い⁴⁾。

そこで，本研究では縦断勾配のついた作業道において片勾配を施工した路面の排水効果および浸食防止効果を検証することを目的とした。

適正片勾配の算出

(1) 合成勾配と落水線

縦断勾配と片勾配がついた作業道路面は，図 1 のように表すことができる。

このとき AB の勾配（縦断勾配）を $\alpha\%$ ，BC の勾配（片勾配）を $\beta\%$ とすると，DB の勾配は α と β の合成勾配となる。この勾配を $\gamma\%$ とすると

$$\gamma = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (1)$$

で表せる。

この DB は路面 ABCD を通る線の中で一番勾配が急な線であり，流水はこの線に平行に流れる。すなわち，この線が落水線であり，落水線 DB と DC とがなす角， $\angle BDC$ を落水角と呼ぶことにする。DB の長さが，この路面における水の最大流下距離となる。

落水線は等高線に直交するから，路面 ABCD 上に高さ CS の等高線を引き，AB との交点を P とすると，PC と DB は直交することになる。このとき $\angle PCB = \angle BDC$ であり，落水角 $\angle BDC$ を θ° とおく。

ここで，落水線 DB の長さは，路面の幅員（AD）を w (m) とおくと，

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{w}{DB} \\ DB &= \frac{w}{\sin \theta} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。

また，落水角 θ は $\angle PCB$ と同じ大きさであるから， $\angle PCB$ を求めればよい。まず， β について考えると， $\angle CBS$ が微小な範囲であれば $\tan \angle CBS \approx \sin \angle CBS$ となるので， $\triangle CBS$ において

* 東京農業大学地域環境科学部森林総合科学科 (k-yabe@nodai.ac.jp)

** 東京農業大学大学院農学研究科林学専攻

模 型 実 験

(1) 方 法

30 cm×100 cm×5 cm の箱に現地試験の対象地の路面から採取した土（秩父層+関東ローム）を敷き詰めて、角材で突き固めてならした作業道の模型（現地試験の面積比 1:100 モデル）を作成し、縦断勾配と片勾配をつけてシャワーで 10 分間散水を行い、縦断方向、横断方向の流出量を測定した。路面には若干の凹凸が見られるが、現地試験の状況にできるだけ近づけた。

縦断勾配：5, 10, 15%, 片勾配：2, 4, 5, 6, 8, 10% の 18 通りの組み合わせで、それぞれ 3 回ずつ実験を行い、横断方向への流出割合と理論値との比較を行った。

横断方向への流出割合の理論値は、以下のように誘導した。まず、DB を落水線とする図 1 の AD=3 m, AB=10 m とすると、落水角 $\theta=16.7^\circ$ となる。

α, β を変化させて、 $\theta < 16.7^\circ$ となる場合は、図 3 のように $\triangle ALR$ の部分の流水は横断方向へ、 $\square RLND$ の部分は縦断方向へ排出される。ここで $\triangle ALR$ に注目すると、試験地において AL=10 m であるから、

$$\begin{aligned}\tan\theta &= \frac{AR}{10} \\ AR &= 10\tan\theta\end{aligned}\quad (11)$$

よって、 $\triangle ALR$ の面積 S_1 は、

$$\begin{aligned}S_1 &= AR \times AL \times \frac{1}{2} \\ &= 10\tan\theta \times 10 \times \frac{1}{2} \\ &= 50\tan\theta \text{ (m}^2\text{)}\end{aligned}\quad (12)$$

すなわち、 $\triangle ALR$ の全体に占める割合が横断流出量の割合 Q_1 となる。



写真 1 模型実験

$$\begin{aligned}Q_1 &= \frac{50\tan\theta}{3 \times 10} \times 100 \\ &= \frac{500}{3} \tan\theta \text{ (\%)}\end{aligned}\quad (13)$$

同様に $\theta > 16.7^\circ$ の場合の横断流出量の割合 Q_2 は、

$$Q_2 = \frac{15}{\tan\theta} \text{ (\%)}\quad (14)$$

となる。

(2) 結果と考察

横断方向への流出割合の理論値と実測値を縦断勾配別に図 5 から図 7 に示した。

縦断勾配 5% の場合は、理論値と実測値がほぼ一致し、片勾配 4% で 80% 以上の流水が横断方向へ流出し、分散排水効果が大きく得られた。

しかし、縦断勾配が 10% になると、理論値と実測値に大きな差が生じ、50% の横断方向への排水を行うのに 5% の片勾配が必要となり、さらに縦断勾配 15% では 7% 以上の片勾配が必要となった。

縦断勾配 10%, 15% において実測値が理論値を比較すると、片勾配 8% 未満においては実測値が理論値を大きく下回ったが、実際の路面を再現した模型では、路面に若干の凹凸があり、これが実測値に大きく影響したものと考えられる。

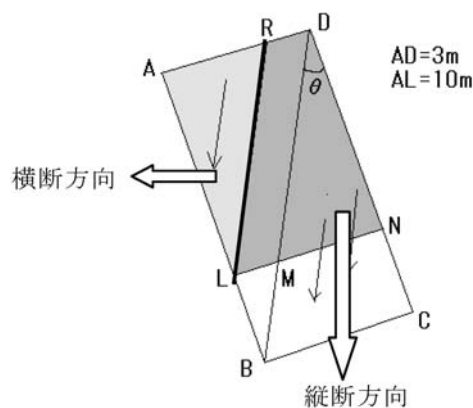


図 3 $\theta < 16.7^\circ$ の場合の流出方向

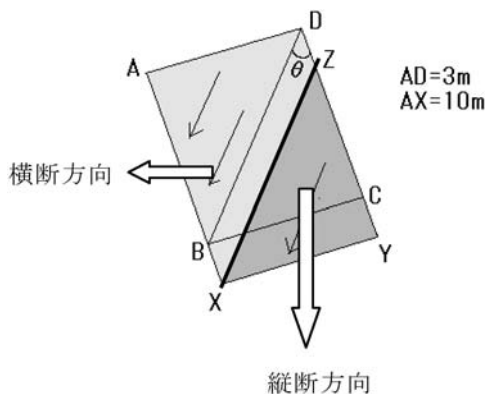


図 4 $\theta > 16.7^\circ$ の場合の流出方向

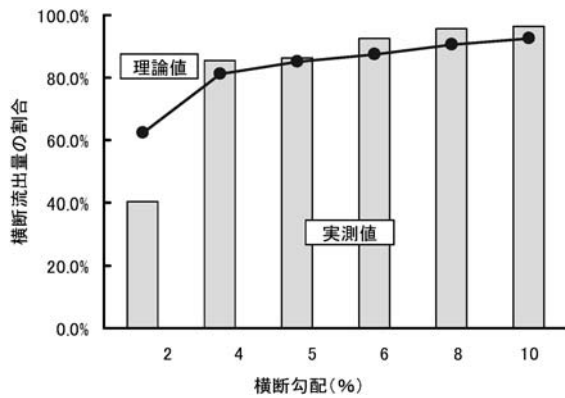


図 5 横断方向流出割合（縦断勾配 5%）

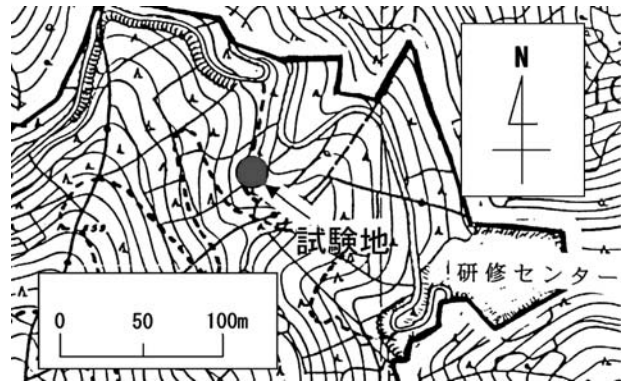


図 8 試験地の位置

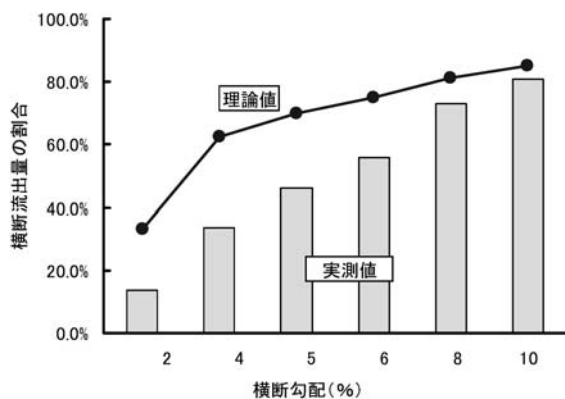


図 6 横断方向流出割合（縦断勾配 10%）

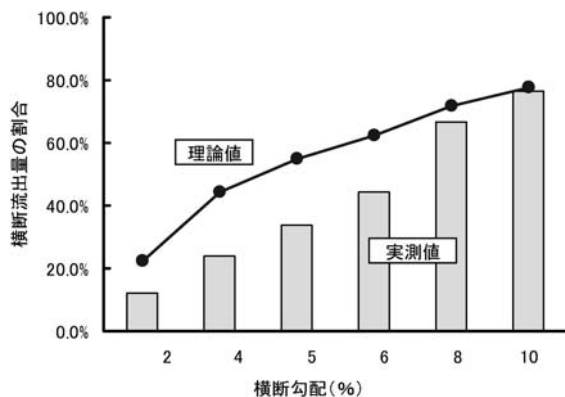


図 7 横断方向流出割合（縦断勾配 15%）

浸食防止効果を適正片勾配から考えると、 $\alpha: 5\%$ のとき $\theta: 8^\circ$ 、 $\alpha: 10\%$ のとき $\theta: 10^\circ$ 、 $\alpha: 15\%$ のとき $\theta: 11^\circ$ となり、この際の横断方向の流出割合を (13) 式により計算するとそれぞれ 23%、28%、31% となった。

したがって、図 5 から 7 の実測値と比較すると、 α が 5% の場合は片勾配 β が 2% 未満、また、 $\alpha: 10\%$ のとき $\beta: 4\%$ 以上、 $\alpha: 15\%$ のとき $\beta: 5\%$ 以上の片勾配が必要となり、浸食防止効果を得るためには理論値よりも大きな片勾配が必要となることが明らかとなった。

現 地 試 験

(1) 試験地および方法

本研究の現地試験は東京農業大学奥多摩演習林内の作業道で行った。演習林は秩父帯に属しており、表層には関東ロームが堆積している。この作業道は、2001 年に作設されたもので、車道幅員 3 m で総延長は約 200 m である。

試験地は作業道の起点から約 100 m にある勾配変化点に幅 3 m × 長さ 10 m の試験地 A（縦断勾配 7%）、B（10%）、C（15%）を設置した。各試験地の間には 8 m の緩衝区間を設置した。横断勾配はいずれも、模型実験の結果から全ての縦断勾配で浸食防止効果が得られると思われる 5% とした。路面はできるだけ平滑になるように転圧機を用いて整地した。通行規制は行わず、車両通行量の記録を行った。

浸食深は写真 3 のポイントゲージを用いて、横断方向 0.3 m ごと、縦断方向 0.5 m ごとに測定した。降水量は、試験地内に転倒ます型雨量計を設置して 30 分間隔で測定した。

試験期間は、2008 年 6 月 19 日から 12 月 5 日までとし、およそ 1 ヶ月に 1 回の測定を行った。また、試験地 B については、2004 年と 2006 年に片勾配施工前の浸食量の測定が行われていたので、片勾配施工の効果の比較に用いた。

(2) 結果と考察

各試験地における平均浸食深を求め、表 1 に示した。2004 年、2006 年に試験地 B において片勾配施工前の浸食深が測定されていたためあわせて示した。表 1 の平均浸食深は、浸食をマイナス、堆積をプラスで表現した。また、期間ごとの累積平均浸食量を図 9 に示した。

表 1 より約半年間の平均浸食深を試験地 A、B、C で比較すると、縦断勾配 10% の B の浸食深が 6.77 mm と最も大きく、次いで 5% の A が 3.1 mm、15% の C が 1.35 mm と最も小さい値を示した。

図 9 をみると、試験開始から 8 月までは A、B、C とともに徐々に浸食される傾向にあった。しかし、9 月に大型の台風が襲来し、スギの枝条が A、C の試験地路上に堆積した。このスギの枝条を取り除くことなく、測定を継続した。そ

表 1 各試験地における平均浸食深

試験地	調査期間	縦断勾配	片勾配	平均浸食深	標準偏差	期間降雨量	最大降雨強度
2008 A	6月19日～12月5日(169日)	7%	5%	-3.1mm	7.66mm	1170mm	34mm/h
2008 B		10%	5%	-6.77mm	7.89mm		
2008 C		15%	5%	-1.35mm	13.89mm		
2004 B	6月7日～10月28日(143日)	10%	—	-10.47mm	9.87mm	1297mm	29mm/h
2006 B	6月21日～10月10日(111日)	10%	—	-9.24mm	10.96mm	821mm	41.5mm/h



写真 2 試験地 C (縦断勾配 15%, 横断勾配 5%)

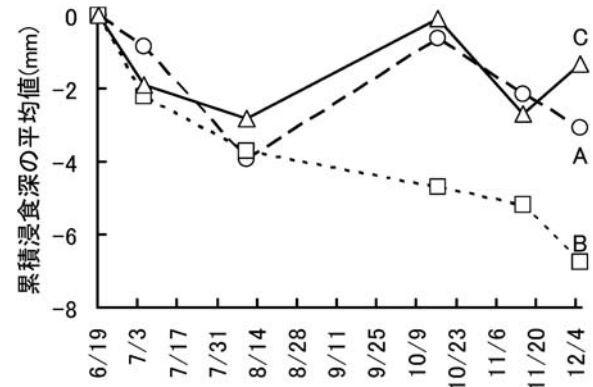


図 9 平均浸食深の経時変化

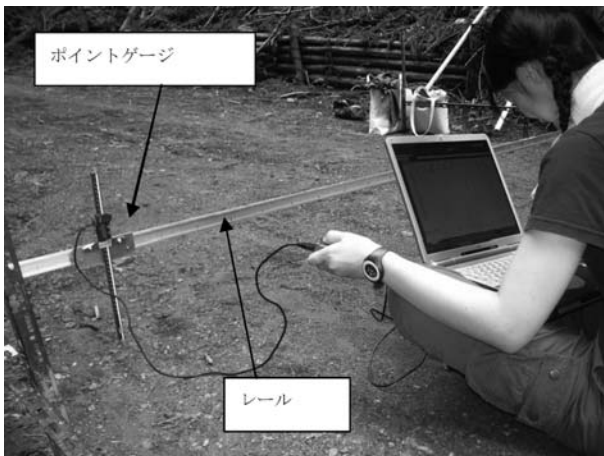


写真 3 浸食量の測定

れが原因で流されてきた浸食土砂が堆積する現象が見られた。10月23日以降のA, Cの傾向をみるとBよりも大きい浸食を示していることから不安定土砂が流出したものと考えられる。上記の影響を排除すると、6月から8月の結果が三試験地ともほぼ同等の浸食の傾向が見られたことから、A, CともにBと同程度の浸食がみられるものと推察される。

つぎに試験地Bにおいて片勾配を施工以前との比較してみた。試験期間、期間降雨量、降雨強度が異なるため単純に比較はできないが、期間降雨量について一番多い2006



写真 4 試験地 C についた轍

年の1,297 mmを基準とし、その比により浸食量を推定すると、2008年の平均浸食量は7.50 mm、2006年が10.47 mm、2004年が14.60 mmとなり、片勾配を施工したことにより30%近く減少したことがわかった。

つぎに走行の安全性について考えてみた。写真4をみると、試験地Cにおいて谷側の轍が深く刻まれていることがわかる。各期間の浸食深のデータからも、試験地A, Bにおいては山側の轍が深く刻まれたのに対し、Cにおいては谷側が深く刻まれていた。試験地Cの合成勾配 γ と落水角 θ を計算すると、 $\gamma=15.8\%$ 、 $\theta=18^\circ$ とかなり大きくなる。したがって、谷側下方の車輪に大きく負荷がかかり、バランスが崩れているため、谷側に深い轍が形成されたものと

思われる。車両を停止しての作業、運材などに非常に危険が伴うので、縦断勾配 15% 以上の場合は、片勾配以外の浸食防止対策を行うことが望ましいといえる。

ま と め

本研究では、作業道における片勾配の分散排水効果および浸食防止効果を検証した。縦断勾配と片勾配の組み合わせを横断排水溝の適正配置の考え方を応用して求めた結果、縦断勾配 20% までであれば、4% 以下の片勾配で効果があることが示された。しかし、模型実験において、路面の凹凸の影響により分散排水効果が減少し、縦断勾配が 15% 以上になると 5% 以上の片勾配が必要であることが示された。

現地試験においては縦断勾配別に比較すると 10% の浸食深が最も大きく現れたが、片勾配施工以前との比較では、30% 程度減少した。

以上の理論展開、模型実験、現地試験の結果から縦断勾配 15% 程度までの作業道において 5% の片勾配を施工することにより、分散排水効果が十分に得られ、浸食防止効果を発揮することが明らかとなった。

縦断勾配 10% 以下の試験地では、轍が山側についてい

たが、15% の試験地では、轍が谷側に集中しており、車両が著しく傾いていることから走行安全性に問題があると考えられる。15% 以上の急勾配においては、分散排水効果を考えるより先に安全性に考慮し、簡易舗装および横断排水溝の施工が望ましいと思われる。

引用文献

- 1) 林野庁編：森林・林業白書 平成 22 年版，(財)農林統計協会，pp 25-27，2010
- 2) 大橋慶三郎：道づくりのすべて，全国林業改良普及協会，2001
- 3) 立川史郎・中島基夫：作業道路面における片勾配の分散排水効果，東北森林科学会第 7 回大会講演要旨集，p 89，2002
- 4) 酒井秀夫：作業道 理論と環境保全機能，全国林業改良普及協会，2004
- 5) 峰松浩彦・南方 康：横断排水溝の間隔に関する研究，日本林学会誌，第 64 巻 5 号，pp 193-197，1982
- 6) 峰松浩彦，南方 康，西尾邦彦，伊藤幸也，神田一宏：林道における適正横断排水溝間隔に関する因子，日本林学会誌，第 65 巻 7 号，pp 258-261，1983
- 7) 峰松浩彦，南方 康，西尾邦彦，伊藤幸也，神田一宏：林道における横断排水溝間隔決定式の適用範囲，日本林学会誌，第 65 巻 12 号，pp 465-470，1983
- 8) 小林洋司編：森林土工学，朝倉書店，pp 77-79，2002

The Effect on Drainage and Erosion Control by the Cant in Strip Road

By

Kazuhiro YABE*, Tadashi HATABU and Katsumi TOYOKAWA*

(Received May 20, 2010/Accepted September 7, 2010)

Summary : In recent years, the strip road has been attracting attention in the mechanization of forest work. The cant is used for prevention of road surface erosion and landslide, because the strip road has many unpaved parts. Therefore, the purpose of this paper is to search for the effect and limit of drainage by the cant, through theory and experiment.

The result of our investigations showed that the effect of erosion control theoretically by the cant was less than 4% on a flat surface. But it was also shown by the model test that the necessary cant is twice as large as the theoretical value, because an unpaved strip road has countless areas of unevenness. In the field experiment, the average depth of erosion has been reduced to about 50% by construction of the cant. But in the case of a steep slope over 15%, vehicles lost balance and were in danger. Therefore, the countermeasure of erosion control, such as the easy pavement and the cross drain, are needed on a steep slope.

Key words : strip road, cant, drainage, road surface erosion

* Department of Forest Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

** Department of Forest Science, Graduate school of Agriculture, Tokyo University of Agriculture